

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Bahram, Panahandeh

Modellbildung und Simulation der Pulse Stream 1200 Meeresenergieanlage

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

**Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische
Hydromechanik**

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103623>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Bahram, Panahandeh (2011): Modellbildung und Simulation der Pulse Stream 1200 Meeresenergieanlage. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Wasserkraft mehr Wirkungsgrad + mehr Ökologie = mehr Zukunft. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 45. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 361-368.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Modellbildung und Simulation der Pulse Stream 1200 Meeresenergieanlage

Bahram Panahandeh, Jochen Bard, Peter Kracht

Mathematical modelling and simulation play an important role in research and development. Computational modeling and simulation help to save development time and costs. Beyond that, they permit the better understanding of the physical processes within a system. This paper presents the modelling and simulation of the pulse stream 1200 marine energy device. The objectives of this works were the load calculation on various system components like foils, arms, etc. and the computational development and test of the operation control.

Die mathematische Modellbildung und Simulation spielen eine große Rolle innerhalb der Forschung und Entwicklung. Die rechnergestützte Modellierung und Simulation helfen Entwicklungszeit und –kosten zu sparen. Darüber hinaus erlauben sie einen tiefen Einblick in die physikalischen Vorgänge innerhalb eines Systems. In diesem Bericht werden die Modellierung und Simulation der Pulse Stream 1200 Meeresenergieanlage (PS1200) vorgestellt. Die Ziele dieser Arbeiten waren die Lastberechnung an verschiedenen Systemkomponenten wie Blätter, Arme, etc. und die rechnergestützte Entwicklung und Erprobung der Betriebsführung und Regelung.

1 Einleitung

Regenerative Energien haben das größte energetische und technische Potenzial aller bekannten Energiequellen. Sie sind klima- und umweltfreundlich, global einsetzbar und sie genießen eine außerordentlich hohe gesellschaftliche Akzeptanz. Einer dieser Energieträger ist die bisher noch kaum kommerziell genutzte Meeresenergie mit einem theoretischen Gesamtpotenzial von rund 40 PWh pro Jahr [1]. Zwei interessante Ansätze für die Energiegewinnung aus dem Meer sind die Nutzung von Wellen- und Meeresströmungsenergie. Für beide Energieformen gibt es unterschiedliche Anlagenkonzepte.

Am Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) wird im Rahmen des Projektes „Pulse Stream“ die Simulation, Entwurf und Erprobung der Betriebsführung und Regelung eines Prototyps für eine Meeresenergieanlage mit einer Nennleistung von 1200 kW durchgeführt. Das Prinzip dieser Anlage beruht auf der Umwandlung der Gezeitenströmung in elektrische Ener-

gie mittels oszillierenden Blättern. Dabei liegen die Tragflächen, anders als bei den bisherigen Strömungsmaschinen, horizontal und bewegen sich auf und ab.



Abbildung 1 Pulse Stream Anlage [2]

2 Anlagenkonzept

Die Pulse Stream Anlage bestand im ersten Entwurf im Wesentlichen aus den folgenden Komponenten:

1. Rampe: Die Anlage wird auf einer Rampe befestigt, die unter anderem die hydraulischen Komponenten und das Generatorsystem beinhaltet.
2. Power Take Off (PTO): Ein hydraulischer Kreis dient zur Energieübertragung zum Generator.
3. Hydraulische Arme: Jeder Arm ist mit einem hydraulischen Zylinder verbunden, der der Zirkulation des Ölmediums im hydraulischen Kreis dient.
4. Pitch-System: Ein hydraulischer Kreis dient zum Pitchen der Blätter.
5. Blätter: Die Blätter dienen zur Energieentnahme aus der Wasserströmung.

Im Verlauf des Projektes wurde und wird darüber diskutiert, die hydraulischen PTO durch einen mechanischen Antriebsstrang zu ersetzen. In diesem Fall wird jeder Arm mit einem Pleuel versehen, welches die Bewegung des Armes auf eine Kurbelwelle überträgt. Diese setzt dann einen Generator in Bewegung.

Die Energieumwandlungskette von PS1200 ist in Abbildung 2 dargestellt.

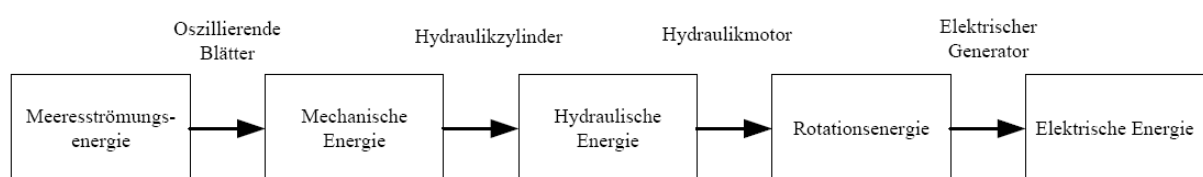


Abbildung 2 Energieumwandlungskette der PS1200 [3]

Der Vorteil solcher Anlagen gegenüber den axialen Strömungsturbinen besteht darin, dass die Länge der Blätter nicht so stark durch die Tiefe des Wassers begrenzt wird. Sie sind also in flachen Gewässern einsetzbar und bieten durch zahlreiche geeignete Küstenregionen ein großes Potenzial zur Energiegewinnung aus der Strömung. Zudem sind die Wartungen und die Verbindungen zum Festland einfacher als bei Meeresenergieanlagen, die in großen Tiefen und weit vom Festland entfernt errichtet werden. Das System mit einer installierten Leistung über 1 MW kann auch noch in Wassertiefen unter 20m eingesetzt werden. Eine vergleichbare, axiale Strömungsturbine benötigt bei gleicher projizierter Fläche zwar eine geringere Rotorblattlänge, da der Radius quadratisch in die Fläche eingeht, aber im Durchschnitt eine 50% größere Tiefe [4].

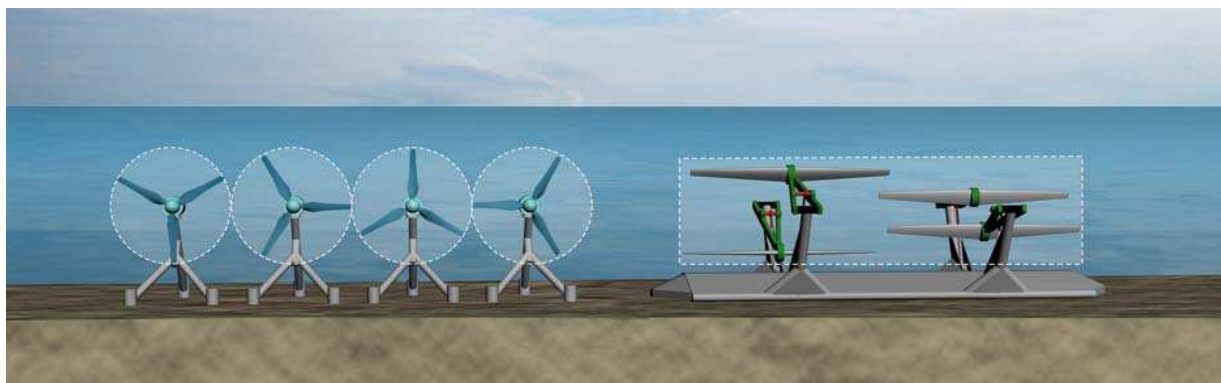


Abbildung 3 Axiale und oszillierende Meeresströmungskraftwerke [2]

Wie bei allen Strömungskraftwerken ist die umgewandelte Leistung P proportional zur angeströmten Fläche A .

$$P = \frac{1}{2} \eta \rho U^3 A$$

Hierbei ist ρ die Dichte in kg/m^3 , η ist der Wirkungsgrad in % und U ist die Strömungsgeschwindigkeit in m/s . Da die Länge der Blätter oszillierender Systeme die Höhe des Blattweges um das 3-4-fache übersteigen kann, braucht es, wie sich zeigen lässt, mehr als 4 Rotoren mit horizontaler Achse und gleicher Höhe, um eine vergleichbare Leistung zu erzielen (Abbildung 3). Man benötigt also weniger Maschinen, Kabel und Installationen was zu einer längeren Lebensdauer und geringeren Strompreisen führt.

3 Modellbildung und Simulation

Die Ziele der Modellbildung und Simulation sind die Lastabschätzung an Systemkomponenten und die Entwicklung und Erprobung der Betriebsführung und Regelung. Für die Simulation der Anlage wurden Modelle für die Wellen-

Strömungs-Interaktion, den Strömungsnachlauf, die Hydrodynamik, das hydraulische bzw. mechanisches PTO, das Generatorsystem, die Betriebsführung und die Regelung erstellt. Als Simulationssoftware wurde MATLAB/SIMULINK gewählt [5]. MATLAB ist ein numerisches Berechnungs- und Simulationswerkzeug, welches in der Ingenieurwissenschaft häufig genutzt wird, um mathematische Probleme zu beschreiben, zu lösen und die Ergebnisse grafisch darzustellen. Als Zusatzprodukt zu MATLAB gibt es die interaktive, grafische Entwicklungsumgebung SIMULINK zur Modellierung und Simulation linearer und nichtlinearer dynamischer Systeme mittels Funktionsblöcken.

3.1 Modellbildung

Für die Berechnung der Last auf Systemkomponenten (wie bspw. die Biegemomente auf die Blätter) ist eine dynamische Simulation der Anlage notwendig. Hierbei müssen die hydrodynamischen Kräfte auf die Blätter, die oszillierende Bewegung der Arme und die Übertragung der Energie zum Generator simuliert werden. Für die Simulation der Strömung wurde ein WCI-Modell (Wave-Current-Interaction) gewählt, dass eine Überlagerung von Wellen und Strömung mit verschiedenen Winkeln zueinander zulässt. Für die Berechnung der Kräfte an den Blättern wurde die Blatt-Element-Methode eingesetzt. Ein Kinematik-Modell berechnet die Bewegungsgleichung der Arme unter Berücksichtigung der Trägheit und Massen der beweglichen Systemkomponenten. Durch die Lösung der Bewegungsgleichung werden Winkel, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen der stromauf und stromab liegenden Arme berechnet.

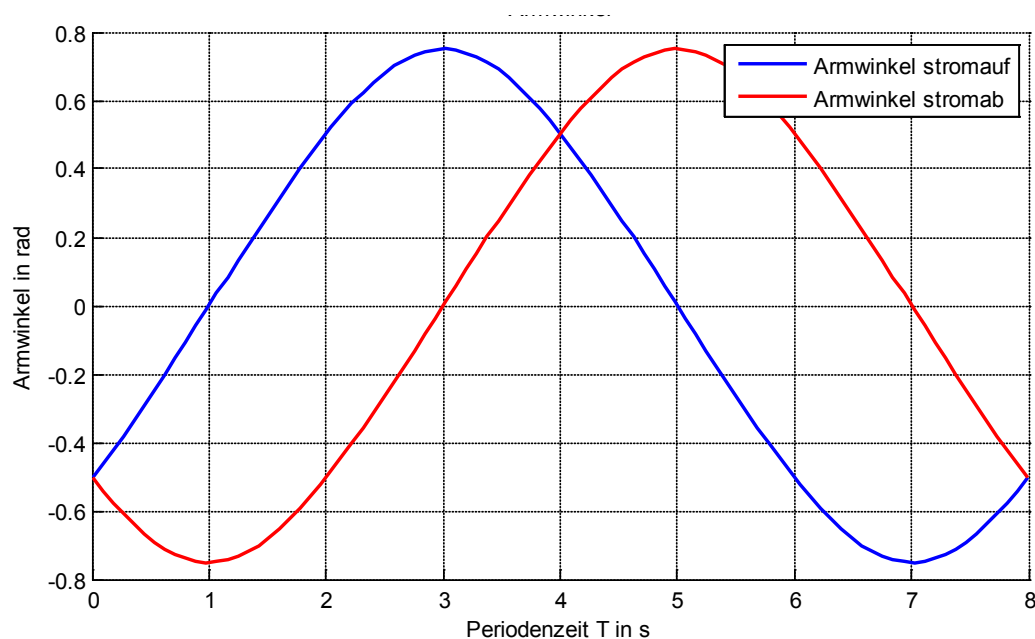


Abbildung 4 Armwinkel für ein Blattpaar für eine Periode

Durch den Armwinkel kann die Blattposition durch trigonometrische Funktionen berechnet werden.

Die Pitchwinkel werden für verschiedene Strömungen im Voraus berechnet. Sie werden so eingestellt dass die Energieausbeute über einen Zyklus maximiert wird. Beim Erreichen der maximalen Leistung der Anlage bzw. der maximalen Drehzahl des Generators werden die Pitchwinkel entsprechend reduziert.

Die Betriebsführung der Anlage wurde als Zustandsmaschine entworfen, in C++ Programmiersprache implementiert und als S-Function in die Simulinkumgebung integriert. Zuerst wurden einige Zustände für den automatischen Betrieb der Anlage wie bspw. „Hochfahren“, „Normalbetrieb“, „Runterfahren“ etc. definiert. Für jeden Zustand wurden die Aktivitäten festgelegt. Hierbei müssen die Sensorsignale gelesen, in physikalische Signale umgerechnet und interpretiert werden. Auf der Grundlage dieser Interpretation müssen die Aktuatorsignale gesetzt werden.

Für den Übergang zwischen den Zuständen wurden verschiedene Wechselbedingungen definiert. Hierbei werden bspw. die Mittelwerte der physikalischen Signale in einem bestimmten Zeitfenster gebildet und mit definierten Schranken verglichen um festzustellen ob eine Wechselbedingung erfüllt wurde.

Die Betriebsführung und Regelung der Anlage wurden in der Simulation sauber von einander getrennt. Für die Realisierung der Regelung wurde die Modellbibliothek von SIMULINK verwendet. Die Regelungsalgorithmen können von der Betriebsführung aktiviert und deaktiviert werden.

3.2 Simulation

Das Betriebsführungsmodell wurde in SIMULINK mit dem Anlagenmodell verbunden. Es wurden verschiedene Tests durchgeführt um die Richtigkeit der Implementierung der Betriebsführung nachzuweisen. In Test 2 sollte ein Strömungsverlauf mit Ebbe und Flut, wie in Abbildung 5 simuliert werden. Hierfür wurde folgendes Sinussignal verwendet:

$$F(t) = 2,5 \frac{m}{s} \sin\left(2\pi \frac{1}{450s} t\right)$$

Da die Anlage nur über einer absoluten Strömungsgeschwindigkeit von 1 m/s Energie umwandeln kann, liegen ihre Arbeitsbereiche zwischen den Zeitpunkten 30s - 196s und 255s - 421s. Der Verlauf des aktuellen Zustands ist in Abbildung 6 dargestellt. Zuerst wird eine Diagnose der Anlage durchgeführt ($t < 30s$). Nachher wird in den Normalbetrieb gewechselt (Aktueller Zustand = 4).

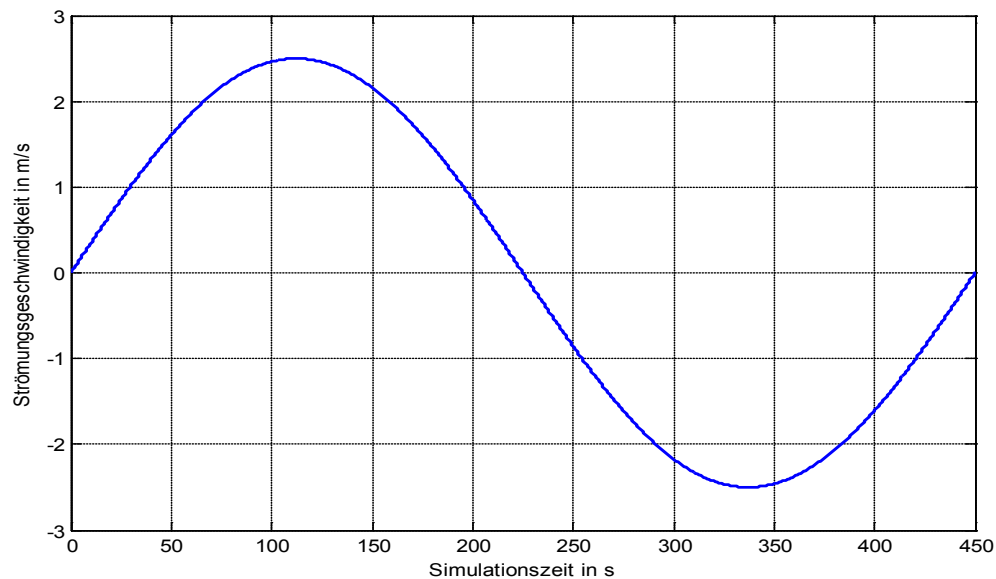


Abbildung 5 Verlauf der Strömungsgeschwindigkeit [3]

Ab Sekunde 196 reicht die Strömungsgeschwindigkeit nicht mehr aus und die Anlage wird über die Zustände 5, 6 und 7 heruntergefahren. Hier wird entweder auf einen erneuten Anstieg oder eine Richtungsumkehrung der Strömung gewartet. Der Richtungswechsel geschieht bei dem Nulldurchgang des Strömungsprofils ($t = 225\text{s}$). Die Betriebsführung prüft 20 Sekunden, ob dieser Richtungswechsel konstant bleibt und wechselt bei 245s in den Zustand FoilReversal. In diesem Zustand werden die Blätter gewendet, um die Vorderkanten der Blätter entgegen der Strömungsrichtung zu fahren. Nach einer erneuten Diagnose kann wieder in den Normalbetrieb gewechselt werden, da die absolute Strömungsgeschwindigkeit ausreichend groß ist.

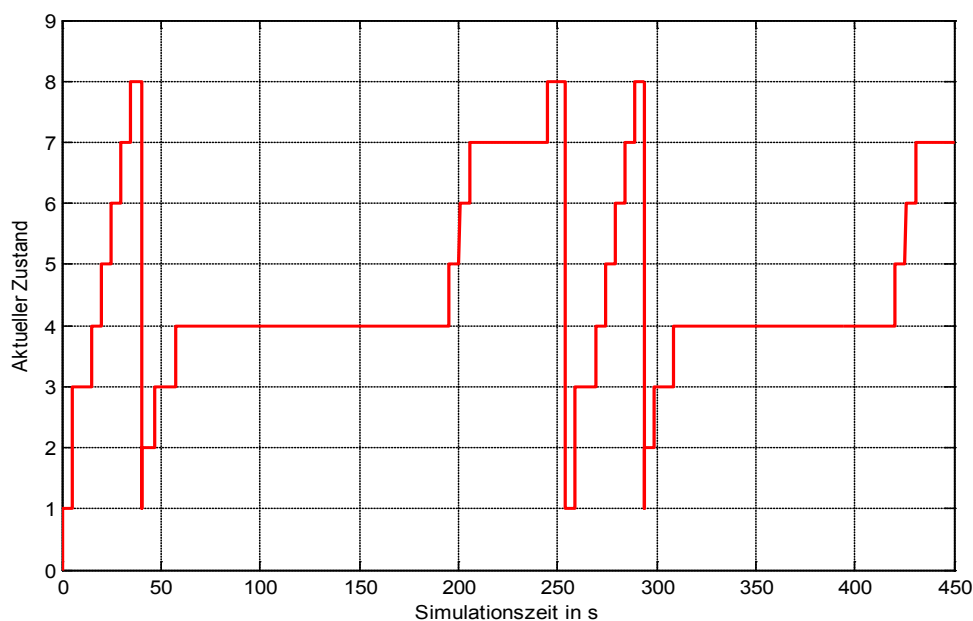


Abbildung 6 Verlauf des aktuellen Zustands in SIMULINK [3]

4 Simulation und Test der Betriebsführung auf der PLC-Hardware

Die Betriebsführung wurde zuerst rechnergestützt modelliert, implementiert und in SIMULINK getestet. Zum Testen der Betriebsführung unter Echtzeitbedingungen auf der realen Hardware wurden zwei Beckhoff Embedded PC (CX-System) [6] miteinander verbunden. CX-Systeme bieten als SPS (Speicherprogrammierbare Steuerung) ein Automatisierungssystem mit offenen Soft- und Hardwareschnittstellen auf der Grundlage PC-basierter Steuerungstechnik.

Auf CX1 wurde das in der Simulinkumgebung entwickelte Anlagenmodell installiert. Hierbei wurde die TcTimer-Technology von Beckhoff eingesetzt. Der TcTimer stellt einen deterministischen Timer dar, der die Ausführung bspw. eines kundenspezifischen C++ Codes erlaubt, ohne die Logik innerhalb der IEC 61131-3 PLC (Programmable Logic Controller) Sprache zu implementieren [6].

Das entwickelte und in SIMULINK getestete Betriebsführungsmodell wurde in die PLC-Sprache ST (Strukturierter Text) übersetzt und auf CX2 implementiert. Die beiden CX-Systeme wurden mittels AD-IO-Busklemmen mit einander verbunden. Hierdurch ist es möglich, die Betriebsführung unter Echtzeitbedingungen zu testen.

Der im Abschnitt 3.2 beschriebene Test 2 wurde unter Echtzeitbedingungen durchgeführt. Abbildung 7 Zeigt der Verlauf des aktuellen Zustands im Zustandsgraf. Durch Vergleich mit Abbildung 6 wird deutlich dass die Betriebsführung auf CX2 unter Echtzeitbedingungen richtig auf die Hardwaresignale reagiert die von CX1 erzeugt werden.

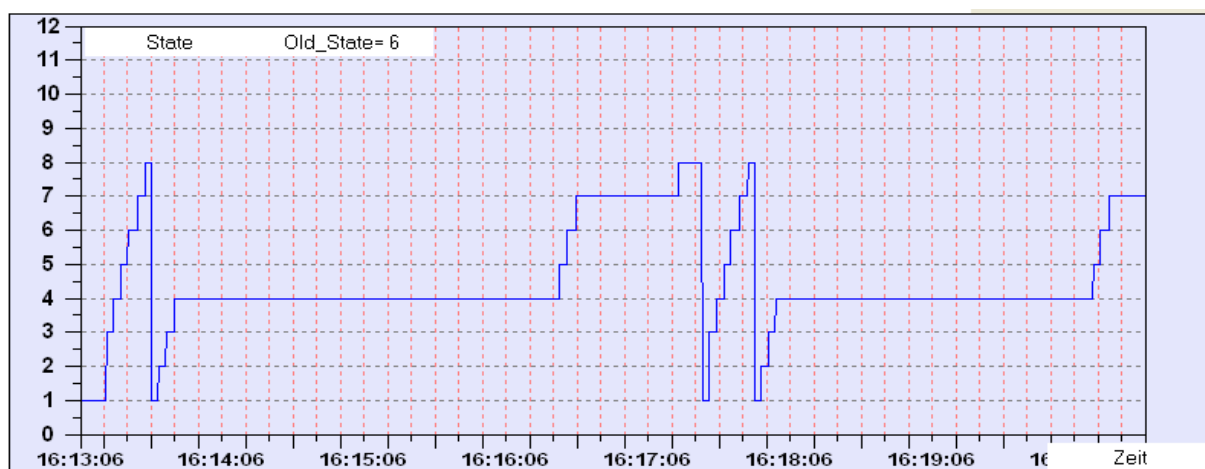


Abbildung 7 Verlauf des aktuellen Zustands in Beckhoff [3]

5 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde die simulationstechnische Entwicklung der Betriebsführung der Anlage PS1200 vorgestellt.

Zuerst wurden verschiedene Zustände für die Betriebsführung der Anlage definiert. Nach der Festlegung der Wechselbedingungen zwischen den Zuständen wurde die Zustandsmaschine in C++ implementiert. Für die rechnergestützte Lastberechnung und Entwicklung der Betriebsführung war die Modellierung der Systemkomponenten notwendig. Nach den Offline-Tests in SIMULINK wurde die optimierte Betriebsführung in der PLC Sprache ST umgesetzt. Zum Testen der Betriebsführung unter Echtzeitbedingungen auf der realen Hardware wurden zwei CX-Systeme miteinander verbunden. Dabei wurde auf CX1 das Anlagenmodell installiert. CX2 beinhaltete die konvertierte Betriebsführung in ST. Die durchgeführten Tests haben gezeigt, dass die Echtzeitsimulation der Betriebsführung das gleiche Verhalten wie in den Offline-Tests aufweist.

Literatur

- [1] Fraunhofer IWES, Tagungsband des 15. Kasseler Symposium Energie-Systemtechnik, Erneuerbare Energien und E-Mobilität 09.2010
- [2] www.pulsetidal.com
- [3] Nuschke, M., Scholz, C.; Entwicklung und Implementierung einer Betriebsführungsstrategie auf einem Beckhoff-System, Bachelorarbeit, Fachhochschule Nordhausen
- [4] www.pulsetidal.com, Development, Test and Demonstration of large scale high efficiency shallow tidal flow device, 04-2008
- [5] www.mathworks.de
- [6] www.beckhoff.de, Beckhoff, Information-System

Autoren:

Dipl.-Ing. Bahram Panahandeh,
Dipl.-Phys. Jochen Bard, Dipl.-Ing. Peter Kracht
Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik
Königstor 59, D-34119 Kassel
Tel.: +49 (0) 561 7294 363
bahram.panahandeh@iwes.fraunhofer.de